

La Vigilancia Meteorológica Mundial en la actualidad

por J. Hayes*

Introducción

En enero de 2003, James Rasmussen ofreció una breve historia del programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM para su publicación en el Boletín de la Organización. Recordó que, en abril de 1963, “el Cuarto Congreso Meteorológico Mundial aprobó el concepto de Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) y embarcó a la Organización Meteorológica Mundial en el viaje que cambió y mejoró drásticamente el desarrollo de la meteorología y de las ciencias atmosféricas”. La llegada de la era espacial fue la chispa que causó la ignición de este acontecimiento en fase de gestación. Tras los lanzamientos del Sputnik, por parte de la URSS, en 1957 y del TIROS de los EEUU en 1960, el presidente norteamericano John F. Kennedy se dirigió a la Asamblea General de las Naciones Unidas, buscando vías para explotar los usos pacíficos del espacio exterior. El resto ya es historia, tal y como aparece registrado en el artículo de Rasmussen.

Desde 2002 se han sucedido diversas iniciativas y se han llevado a cabo varios logros que han tenido un impacto significativo en la Vigilancia Meteorológica Mundial. De hecho, no se había realizado tanto hincapié ni la atención mundial había estado tan centrada en el conocimiento del medio ambiente desde los años 60, algo que se puso de manifiesto en diciembre de 2007 con la concesión del Premio Nobel de la Paz al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y al Sr. Albert Gore Jr., “por sus esfuerzos por aumentar los conocimientos sobre el cambio climático de origen humano y divulgarlos, y por sentar las bases de las medidas necesarias para contrarrestar ese cambio”. Con

relación a la Vigilancia Meteorológica Mundial, se han producido tres importantes decisiones que están moldeando una futura Vigilancia Meteorológica Mundial diseñada para garantizar una mejora en los servicios meteorológicos, hidrológicos y medioambientales mediante la ampliación de los límites de la ciencia y la tecnología, con el fin de hacer frente a las necesidades sociales y seguir demostrando el liderazgo internacional de la OMM por lo que respecta a la prestación de productos y servicios meteorológicos, climáticos e hídricos.

En primer lugar, el XIV Congreso Meteorológico Mundial (mayo de 2003) decidió embarcarse en una gran mejora del Sistema Mundial de Telecomunicación del programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial, con una iniciativa conocida como Sistema de Información de la OMM (SIO). En segundo lugar, en julio de 2003 y contando con la invitación de los Estados Unidos, 33 naciones y la Comisión Europea se unieron en la primera Cumbre de Observaciones de la Tierra (EOS-I) para firmar una declaración que instaba a tomar medidas en lo que respecta al fortalecimiento de la cooperación mundial relativa a las observaciones sobre la Tierra. Y en tercer lugar, el XV Congreso Meteorológico Mundial (mayo de 2007) decidió moverse en la dirección necesaria para mejorar la integración de los sistemas de observación de la OMM.

Los tres acontecimientos anteriores constituyen las tres piedras angulares de un cambio en el paradigma para los Miembros de la OMM. A fin de que se aprecien mejor los cambios, este artículo revisa la Vigilancia Meteorológica Mundial que existía en 2002 y resume las iniciativas posteriores.

La Vigilancia Meteorológica Mundial en 2002 y en la actualidad

La intención principal de la VMM en 2002 era garantizar que la totalidad de los Miembros de la OMM consiguieran la información meteorológica que necesitaran tanto para el trabajo operativo como para la investigación, y este propósito sigue constituyendo el elemento impulsor. La VMM es un sistema mundial que cuenta con instalaciones y servicios a nivel nacional proporcionados por Miembros individuales, coordinados y, en algunos casos, respaldados por la OMM y por otros organismos internacionales.

Los elementos principales de la VMM en 2002 eran los siguientes:

- el Sistema Mundial de Observación (SMO), compuesto por redes de observación y otras instalaciones;
- el Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT), que consta de centros de telecomunicaciones, instalaciones y convenios para el intercambio rápido de información;
- el Sistema Mundial de Proceso de Datos (SMPD), que abarca los centros meteorológicos y los convenios operativos encaminados a procesar los datos de observación y a preparar las predicciones.

Según el paradigma existente hoy en día, el SMO está evolucionando en el WIGOS (Sistema mundial integrado de observación de la OMM), mientras que el SMT se está articulando y ampliando como Sistema de Información de la OMM (SIO). En realidad, el WIGOS es el vínculo que une la totalidad de los sistemas de

* Representante Permanente de los Estados Unidos ante la OMM y antiguo director del departamento del programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial, OMM (2006-2007)

observación de la OMM y los sistemas patrocinados en una sola red de sistemas de observación. El renombrado Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción (SMPDP) incrementa el énfasis sobre el aspecto de la predicción numérica del tiempo (PNT) en relación con el proceso de datos como parte del proceso de predicción meteorológica en cualquier escala de tiempo.

Sistema Mundial de Observación (SMO)

El Sistema Mundial de Observación comprende un sistema espacial de satélites medioambientales, así como una red superficial de referencia de diversos sistemas de observación de las capas superiores de la atmósfera y de la superficie.

Sistema espacial de satélites medioambientales

El componente espacial está integrado por tres tipos de satélites: satélites meteorológicos operativos de órbita baja, satélites geoestacionarios y satélites medioambientales de investigación y desarrollo (I+D). Los satélites meteorológicos de órbita baja (la mayor parte de ellos, con órbita polar) y los geoestacionarios siguen desempeñando un papel fundamental para los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de cara al valioso suministro de datos, productos y servicios, incluyendo imágenes, sondeos y recopilación y distribución de datos.

Los actuales satélites meteorológicos operativos incluyen misiones geoestacionarias y con órbita polar controladas por China, la India, Japón, los Estados Unidos y EUMETSAT.

Red superficial de sistemas de observación

Alta atmósfera

Los sistemas actuales que emplean el Sistema de Posicionamiento Mundial han derivado en una constante mejora de la calidad de los datos y de la facilidad del control. Sin embargo, el elevado coste de los equipos y de los fungibles ha hecho que sea prácticamente imposi-

Misiones de satélites de I+D que contribuyen al SMO

Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA)

Aqua, Terra, Aura, TRMM, QuikSCAT, ACRIMSAT, SORCE, GRACE, NMP EO-1, ICESat y Cloudsat

Agencia Espacial Europea (AEE)

ENVISAT, ERS-2

Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES)

Parasol

CNES-NASA

JASON-1 y CALIPSO

Administración Nacional del Espacio de China (CNSA)

HY-1B

Instituto Nacional Brasileño de Estudios Espaciales y CNSA

CBERS-2, CBERS-2B

ble establecer la red mundial inicialmente prevista. Se ha progresado algo a través de la utilización de sistemas de radar con dirección vertical (perfiladores), sistemas electrónicos modernos en aviones comerciales de pasajeros (que ofrecen datos medioambientales en el ascenso y en el descenso, así como a nivel de vuelo), y con la mejora en la capacidad de sondeo de los satélites y el despliegue continuo de sistemas de observación de la alta atmósfera a bordo de buques. La red de observación in situ de la atmósfera superior continuará siendo uno de los principales retos de la VMM.

Superficie

Han sido dos los principales avances que han caracterizado la evolución de las observaciones meteorológicas en la superficie de la Tierra. En primer lugar, el desarrollo de las tecnologías automáticas de observación meteorológica, que han permitido una utilización más eficaz de los recursos humanos y han posibilitado el despliegue de sistemas de observación en emplazamientos más remotos. El segundo avance ha sido la gran mejora de las observaciones en el océano.

Los acuerdos de cooperación entre la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y la OMM, que desembocaron en la puesta en marcha del Sistema Global



Figura 1 – Los tres componentes espaciales de la constelación del Sistema Mundial de Observación

Integrado de Servicios Oceánicos, supusieron un peldaño anticipado de cara a hacer frente a la necesidad relacionada con la cobertura de datos en el océano. El desarrollo y despliegue de sistemas de boyas a la deriva y fijas por todos los océanos del mundo, junto con la adquisición y localización de datos mediante sistemas de satélite, han mejorado drásticamente la cobertura de datos. La red denominada ARGO logró alcanzar, recientemente, un estado operativo de 3 000 boyas perfiladoras.

WIGOS (Sistema mundial integrado de observación de la OMM)

Existe una necesidad ampliamente reconocida de contar con un sistema de observación mundial exhaustivo, coordinado y sostenible que aúne diferentes sistemas de observación espacial y de superficie de manera integrada y de modo que se pueda optimizar el conocimiento de las condiciones medioambientales actuales y la explotación de esta información de cara a la obtención de productos y servicios meteorológicos, climáticos e hidrológicos de predicción. Son muchas las agencias internacionales que tienen que administrar de forma sistemática estos conjuntos de sistemas, y han desarrollado políticas y progra-



Figura 2 – Colocación de un flotador canadiense del programa Argo en el Mar de Bering, el 24 de octubre de 2007 (fotografía: Hiroshi Matsunaga)

mas de datos para hacer frente a sus necesidades. El XV Congreso adoptó el concepto del WIGOS (Sistema mundial integrado de observación de la OMM), que constituye la respuesta organizativa de la OMM a esta necesidad de integración, por lo que se necesita una fuerte cooperación entre todos los socios para lograr concluir con éxito todos los objetivos relacionados con esta integración.

WIGOS es una red integral, coordinada y sostenible de sistemas de observaciones, que se basa en los requisitos de observación de la totalidad de los programas de la OMM. Garantiza la disponibilidad de los datos e información necesarios, y facilita el acceso a través del Sistema de Información de la OMM en función de las necesidades temporales, geográficas y organizativas que se hayan identificado, incluyendo las establecidas para tiempo real, tiempo casi real y modos diferidos. Al llevar a cabo esta tarea, el sistema WIGOS respeta las políticas de intercambio de datos y ayuda a garantizar beneficios y altos niveles de calidad de datos.

Los componentes superficiales y espaciales del sistema WIGOS incluyen redes de observación meteorológica (por ejemplo, el SMO de la VMM, la Retransmisión de datos meteorológicos de aeronaves o el Programa aerológico automatizado a bordo de buques), redes de observación de la composición atmosférica (por ejemplo, la Vigilancia de la Atmósfera Global), redes de observación de la radiación (por ejemplo, la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie), redes y dispositivos de meteorología marina (por ejemplo, buques de observación voluntaria o conjuntos de boyas a la deriva y fijas), redes de observación hidrológica (por ejemplo, los componentes del Sistema mundial de observación del ciclo hidrológico) y los diversos sistemas de observación atmosférica, hidrológica, oceanográfica y terrestre que contribuyen al Sistema Mundial de Observación del Clima. Para comprender el clima mundial y los componentes del sistema climático mundial (atmósfera, hidrología, océano, superficie terrestre y criosfera) resulta fundamental mejorar la vigilancia mediante la integración de las observaciones espaciales y superficiales.

El desarrollo y puesta en marcha del WIGOS se llevará a cabo en paralelo con la planificación y puesta en marcha del Sistema de Información de la OMM. La combinación de ambas iniciativas permitirá crear un sistema integrado de la OMM completo, diseñado para mejorar la habilidad de los Miembros a la hora de proporcionar de forma eficaz un amplio abanico de servicios, así como para ajustarse mejor a los requisitos de los programas de investigación.

WIGOS creará una estructura organizativa, programática, procedimental y de control que mejorará de forma significativa la disponibilidad de los datos y productos derivados de la observación. Ofrecerá un enfoque sencillo para gestionar todos los sistemas de observación de la OMM, así como un mecanismo para interactuar con los sistemas de observación copatrocinados. La integración conllevará eficacia y ahorro de costes, que podrán reinvertirse en superar las deficiencias y lagunas conocidas en la estructura actual y en los planes de trabajo.

El sistema WIGOS pretende:

- ofrecer un enfoque más rentable para ajustarse a los requisitos programáticos de la OMM, con la vista puesta en reducir los costes para los Miembros incrementando la utilidad de la información;
- garantizar la disponibilidad de toda la información registrada por los diversos sistemas de observación de la OMM y los diferentes componentes de los sistemas copatrocinados, haciendo especial hincapié en la información obtenida por satélite, radares, perfiladores de viento, sistemas aéreos, plataformas oceánicas in situ y otros sistemas de observación de la siguiente generación;
- facilitar el acceso en tiempo real o casi real y en modo diferido a las observaciones que necesitan los programas de la OMM y los copatrocinados por ella, así como los convenios internacionales correspondientes;
- garantizar que se cumplan las normas de calidad de los datos requeridos, y que dichas normas

se mantengan para la totalidad de los requisitos del programa;

- facilitar una mejor gestión de los datos, incluyendo las posibilidades de archivo y recuperación de los mismos;
- facilitar la innovación tecnológica;
- seguir contando con la coordinación existente con los fabricantes de instrumentos e institutos científicos en lo que respecta al desarrollo y comprobación de instrumentos de observación de próxima generación;
- desarrollar una documentación reguladora adecuada, en la que se incluya tanto la organización como las prácticas y procedimientos recomendados;
- crear un vínculo entre las tecnologías existentes de manera integrada, con el fin de aportar beneficios sociales.

El concepto del WIGOS está basado en la idea de que ponerse de acuerdo en lo que respecta a las normas generales y a las prácticas recomendadas será un elemento de aplicación sobre todos los sistemas y programas de observación, tanto los de la OMM como los patrocinados.

- Todos los datos y metadatos observacionales así como los productos de observación procesados del sistema WIGOS:
 - se intercambiarán a través del SIO, mediante la utilización de formas y formatos acordados para la representación de datos y metadatos;
 - utilizarán hardware y software compatibles con las normas y protocolos del WIGOS;
 - se sumarán a las normas acordadas del WIGOS en lo que respecta a instrumentos y métodos de observación, así como a prácticas y procedimientos normalizados de la red de observación;
 - se archivarán en formatos y resoluciones aprobados por el WIGOS en los centros de archivo de la OMM que hayan sido acordados.
- El sistema WIGOS:

- desarrollará estrategias para satisfacer los requisitos de observación de los programas de la OMM y de los socios internacionales a través del proceso de examen continuo de las necesidades de la OMM;
- desarrollará estrategias para garantizar la interoperabilidad del sistema, incluyendo la calidad de los datos de los sistemas e instrumentos de observación;
- valorará las capacidades existentes del sistema WIGOS antes de desarrollar, adquirir y/o desplegar nuevos sistemas o sensores de observación;
- explotará las plataformas existentes y utilizará conceptos de plataforma multisensorial en la mayor medida posible;
- coordinará las necesidades, planes y actividades de observación con todas las comisiones técnicas, asociaciones regionales y programas que corresponda;
- construirá el WIGOS como una red de sistemas de observación, utilizando los sistemas y redes de observación existentes en el seno de una red de sistemas de observación.

Como red de sistemas de observación, la integración se llevará a cabo en tres niveles:

- normalización de instrumentos y métodos de observación (nivel de instrumentos y métodos de observación);
- infraestructura de información común (nivel de datos del SIO);
- garantía de calidad del producto final (gestión de calidad, garantía de calidad y control de calidad a nivel de producto).

El beneficio que reporta el WIGOS a los Miembros y a las organizaciones asociadas a dicho sistema incluyen:

- mejora de los servicios meteorológicos, climáticos e hidrológicos, incluyendo los destinados a apoyar la preparación frente desastres y la adaptación a las condiciones climáticas;

- aumento en la calidad, coherencia y acceso a observaciones multidisciplinares;
- utilización más eficaz de los recursos;
- mejor preparación para incorporar nuevos sistemas de observación.

Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT)

Las necesidades de comunicación de los Servicios Meteorológicos Nacionales relativas a la recopilación de datos e intercambio de información han sido satisfechas en gran medida a través de la puesta en marcha y desarrollo del Sistema Mundial de Telecomunicación. Basado en la tecnología disponible en los años 70 (líneas telegráficas y telefónicas alquiladas), la topología del sistema se cimentó alrededor de la capacidad de conectividad de los países, y constaba de tres Centros Meteorológicos Mundiales (CMM): Moscú, Washington y Melbourne, así como de una serie de Centros Regionales de Telecomunicación (CRT) que se encargaban de conectar los Centros Meteorológicos Nacionales (CMN) de los Miembros con la Red Principal de Telecomunicaciones.

Se desarrolló una estructura de gestión de datos para esta red, que incluía catálogos de metadatos para el contenido de los mensajes y de los informes correspondientes a las estaciones de observación, así como catálogos de distribución en los que se detallaba dónde se originaba la información, y qué Estados Miembros se suscribían a cada una de las informaciones. Estos catálogos permitían el envío de mensajes que contuvieran únicamente datos dinámicos, aumentando así la eficacia y velocidad del sistema.

El SMT sigue funcionando en tres niveles:

- la Red Principal de Telecomunicaciones: una red de mallas de alta velocidad que conecta tres centros mundiales y una selección de Centros Regionales de Telecomunicación, de tal forma que las Regiones están interconectadas de forma eficaz a través del sistema mundial;

- Redes Regionales de Telecomunicaciones Meteorológicas que conectan los Centros Meteorológicos Nacionales a través de los CRT;
- Redes Nacionales de Telecomunicaciones Meteorológicas dentro de cada país.

Con el paso de los años, el plan para el SMT ha evolucionado desde el sistema de "almacenamiento y reexpedición", con su miscelánea de instalaciones automáticas y dotadas de personal, necesitadas de un control más amplio, aspecto que provocaba la propensión hacia los apagones y los fallos (especialmente a nivel regional), hasta una combinación de sistemas de distribución de datos a través de satélites de telecomunicaciones con cobertura nacional, regional y multirregional, complementando así las redes de mallas encargadas de la comunicación de datos y los circuitos tradicionales punto a punto. La implantación del SMT tiene que encajar con la totalidad del abanico de habilidades y requisitos establecidos por los Miembros de la OMM, desde los países menos desarrollados hasta los estados más avanzados. El principal punto fuerte del SMT de la VMM es el hecho de que permite la conexión telecommunicativa entre los Miembros, así como en el seno de regiones y entre estas, las cuales deberán ser determinadas por parte de los Miembros correspondientes en la medida en que se cumplan los compromisos y protocolos de intercambio internacional, tal y como se hayan acordado a nivel mundial y reflejado en el Reglamento Técnico de la OMM.

El SMT ha estado constantemente bajo revisión dentro de la Comisión de Sistemas Básicos (CSB) de la OMM y en las seis asociaciones regionales de la Organización. La planificación encaminada a actualizar los componentes del sistema, tanto a nivel mundial como regional, con el fin de sacar partido de los cambios revolucionarios que están teniendo lugar en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), se ha convertido en una de las principales prioridades, a la vez que se garantiza que todos y cada uno de los Miembros recibe la información meteorológica que necesita.

La amplia colaboración internacional permitió el desarrollo de normas y claves para los mensajes, que además mejoraron la funcionalidad y la eficacia del SMT. Concretamente, se desarrolló una codificación especial, conocida como claves alfanuméricas tradicionales (CAT), con el fin de permitir que las observaciones y los mensajes circularan por la red de manera eficaz. Con una base que originariamente respondía a protocolos telegráficos, el SMT evolucionó rápidamente mediante la utilización de una serie de canales de datos sobre canales internacionales privados de tipo telefónico para conectar los CRT. Más tarde, el SMT experimentó una nueva mejora con la inclusión de tecnología de gráficos en facsímil, para el intercambio de productos escaneados y basados en imágenes. La migración al protocolo de comunicaciones ITU-X25 en los años 80 permitió, posteriormente, que el SMT pudiera procesar datos binarios, así como CAT y facsímil, a la par que garantizaba la transmisión a prueba de errores. El intercambio de información binaria, así como de texto, permitía que las claves se desarrollaran utilizando la compresión binaria basada en tablas; este tipo de compresión permitía un intercambio aún mayor de información para una capacidad determinada.

Los conductos de comunicación que conectan los CRT y los CMN también evolucionaron, gracias a una tecnolo-

gía en rápido avance, incluyendo, ya en años más recientes, la técnica *frame relay*, el modo de transferencia asíncrona, el protocolo de conmutación por etiquetas MPLS y otras redes avanzadas y gestionadas de comunicación de datos. Aparte de ser considerablemente más rentable de cara a su aplicación en la mayoría de los países, estas redes facilitaron la consecución de rápidas mejoras y actualizaciones del SMT. La rápida evolución de internet, y de la correspondiente TIC, planteó una oportunidad inmensa, posibilitando incluso la ejecución de habilidades más sofisticadas y comerciales de tratamiento de mensajes que no presentan ningún tipo de complicación adicional a costes más bajos, lo que fomentó una potente y rápida migración a protocolos basados en internet dentro del SMT.

La rápida migración del SMT hacia normas y tecnologías industriales a nivel internacional, junto con los sistemas de hardware y de software de fácil manejo, han sido factores que han desembocado en una gran oportunidad para la creación de capacidad en los países en vías de desarrollo, permitiendo la puesta en marcha rápida de sistemas avanzados de información y comunicación para muchos de ellos. Esto, a su vez, permitió la utilización de diferentes y versátiles tecnologías de red, incluyendo internet entre las mismas, en el momento en el que así procediera, para su uso encaminado a complementar los

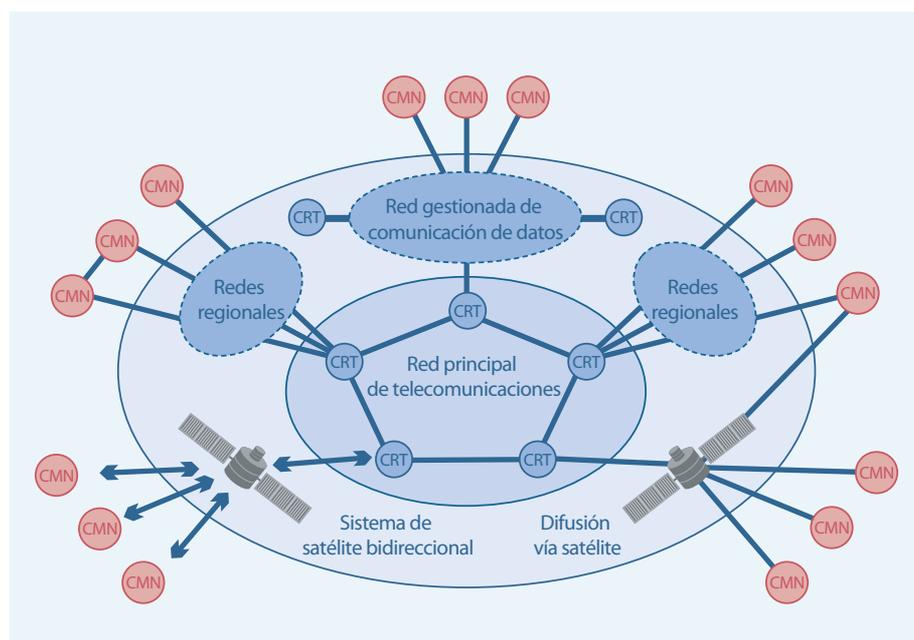


Figura 3 – El Sistema Mundial de Telecomunicación

enlaces privados del SMT. En algunos casos, especialmente en los países en vías de desarrollo y en los menos desarrollados, internet constituye el único medio de telecomunicación asequible, a pesar de los riesgos inherentes a su seguridad operativa y su limitada resistencia en caso de episodios importantes con impacto público, incluyendo los desastres naturales. El SMT es, básicamente, un sistema privado de comunicación que conecta los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales de la OMM en una red de gran amplitud, tal y como se representa en la Figura 3, garantizando el intercambio de datos y productos fundamentales desde el punto de vista temporal y operativo. El estado de la implantación del SMT en Asia, en agosto de 2007, puede encontrarse en <http://www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/GTSstatus/R2rmtni.gif>.

La ventaja de una red de gran amplitud cerrada como el SMT es que permanece bajo el control pleno de los SMHN, con una calidad de servicio garantizada, que asegura un tráfico de alta prioridad. El inconveniente es que a pesar de sus rápidas mejoras, su capacidad para gestionar volúmenes de datos aparece limitada por el coste de la conectividad entre centros. En comparación y por regla general, internet puede gestionar grandes volúmenes de datos y, desde principios de los años 90, impulsados por los incipientes volúmenes de datos asociados con los modelos mejorados de predicción meteorológica numérica y por los volúmenes de datos de crecimiento rápido asociados a su vez con la teledetección a partir de los nuevos sistemas mejorados de satélites, los SMHN crearon vínculos bilaterales para el intercambio de datos y, en años más recientes, a través de internet.

Los programas de la OMM diferentes al de la VMM también desarrollaron el intercambio de información con distintos enfoques de gestión de datos al margen de la estructura de administración de datos del SMT, y los sistemas de tratamiento de la información de los SMHN tuvieron que hacer frente a múltiples fuentes de datos, a pesar de que los catálogos de la SMT ya no representaban la totalidad de la información disponible para los Miembros de la OMM. Finalmente, se admitió que estos procesos de evolución en lo que

respecta a la información y la comunicación estaban generando ineficacias y/o duplicación, así como un deterioro de la rentabilidad general.

Sistema de información de la OMM

Fue en este entorno en el que se desarrolló la iniciativa del Sistema de Información de la OMM (CSB, 1992). El SIO incorpora la conectividad del SMT y la flexibilidad de los nuevos sistemas como internet, a la par que garantiza que la estructura de gestión de datos es capaz de abarcar toda la información de la OMM. Este nuevo modelo, simplemente, desplaza el enfoque desde la conectividad hasta los datos, productos y gestión a través del SMT y de internet (es decir, la perspectiva pasa de centrarse en la comunicación a centrarse en los datos).

El XIV Congreso Meteorológico Mundial adoptó formalmente el concepto del SIO, estableciendo la necesidad de un enfoque global encaminado a resolver los problemas derivados de la gestión de datos para la totalidad de los programas de la OMM y programas internacionales afines.

En su calidad de infraestructura única, coordinada y mundial, el SIO:

- se utilizará para la recopilación e intercambio de información para todos los programas de la OMM y programas internacionales afines;
- proporcionará una estructura flexible y ampliable que permitirá que los centros de participación puedan mejorar sus capacidades en la medida en que aumenten sus responsabilidades nacionales e internacionales;
- articulará los componentes de mayor éxito correspondientes a los sistemas de información de la OMM existentes en un proceso de evolución;
- prestará especial atención durante el desarrollo para que se produzca una transición coordinada y sin problemas;

- basará la red principal de comunicación en enlaces de comunicación utilizados dentro del sistema de la Vigilancia Meteorológica Mundial para datos de prioridad alta, en tiempo real y fundamentales de cara al funcionamiento;
- empleará normas industriales internacionales en lo que respecta a protocolos, hardware y software.

El diseño básico del SIO se desarrolló en un primer momento por parte de un Equipo de tareas intercomisiones, iniciándose numerosos proyectos piloto fundamentales con el fin de comprobar y desarrollar algunos de los principios. Tras admitir la necesidad de implantar el SIO y a la vista de la naturaleza global del mismo con respecto a todos los programas, el Congreso creó un Grupo de coordinación intercomisiones sobre el SIO, que se reunió por primera vez en enero de 2005. Las comisiones técnicas recibieron la orden de ofrecer recursos y apoyo para el desarrollo del SIO.

El XV Congreso acordó que el SIO ofreciera tres tipos fundamentales de servicios para atender distintas necesidades:

- servicio rutinario de recopilación y difusión de datos y productos esenciales desde el punto de vista temporal y operativo, fundamentado en una consolidación continua y en la realización de sucesivas mejoras en el SMT (incluyendo el Servicio mundial integrado de difusión de datos);
- servicio de identificación, acceso y recuperación de datos, que se implantaría básicamente a través de internet;
- servicio de entrega oportuna de datos y productos (volúmenes grandes, pero menos sensibles al plazo de distribución).

El XV Congreso reforzó la necesidad del SIO y de su rápida implantación, destacando además la conveniencia de que el SIO trabajara estrechamente con un Sistema Integrado de Observación Mundial de la OMM, y facilitara las comunicaciones y necesidades de

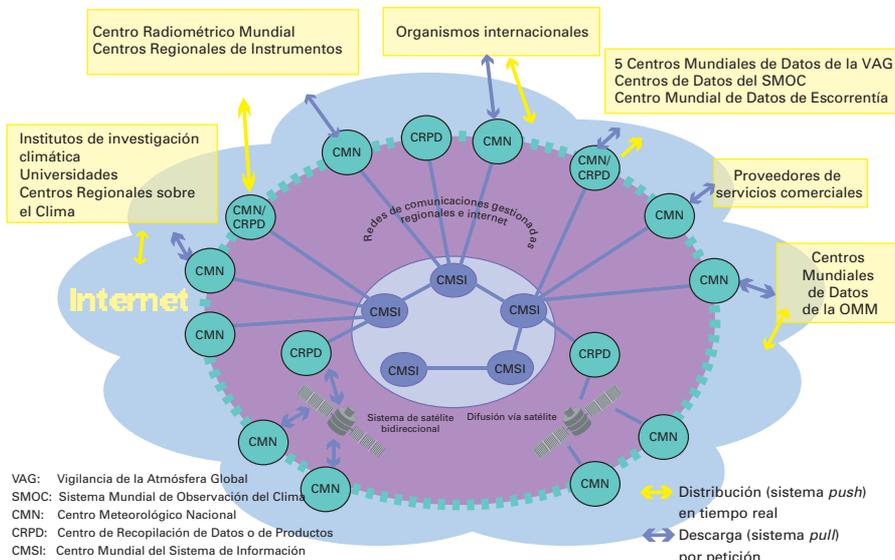


Figura 4 – Estructura funcional y comunidad de usuarios del Sistema de Información de la OMM

información del mismo. El Congreso apoyó el plazo de tiempo destinado al desarrollo y puesta en marcha del SIO, apuntando hacia el primer centro SIO operativo a nivel mundial para finales de 2008.

Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción (SMPDP)

El plan original de la VMM se centraba en la creación de tres Centros Meteorológicos Mundiales y, en última instancia, preveía la aparición de varios Centros Meteorológicos Regionales. El concepto operativo se basaba en el hecho de que los CMM asumirían la tarea de reunir datos (información como los campos de salida de los modelos mundiales de predicción numérica del tiempo) y su interpretación para su uso por parte de los diversos CMR, quienes, a su vez, añadirían un nivel mayor de detalle con el fin de respaldar a los Centros Meteorológicos Nacionales en sus responsabilidades de prestación de servicios. La estructura del SMPDP ha evolucionado y unos 25 Centros Meteorológicos Regionales Especializados (CMRE) cuentan con una especialización geográfica. Estos centros emplean una serie de modelos y análisis especialmente diseñados y configurados para ofrecer asesoramiento

a la predicción para una zona topográfica u oceánica concreta, mediante la utilización frecuente de fuentes de datos y de conocimientos de naturaleza local o regional, como por ejemplo las redes de superficie y los radares meteorológicos.

Además, seis CMRE tienen responsabilidades en materia de predicción de ciclones tropicales y ocho la tienen en lo relativo a la elaboración de modelos de transporte atmosférico para preparar medidas de respuesta frente a una emergencia medioambiental (accidente nuclear, erupción volcánica, humo procedente de grandes incendios u otras emergencias). Estos centros han puesto en funcionamiento hace pocas fechas una nueva capacidad operativa para llevar a cabo simulaciones de “retro trayectorias”, con el fin de estimar el origen del material aerotransportado que haya sido detectado, como en el caso del sistema de verificación del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares. Además, varios CMRE diseñados ofrecen predicciones meteorológicas a medio plazo, control y predicción de sequías y predicciones ampliadas a largo plazo, así como predicciones de los índices ultravioleta.

Unos 80 Centros Meteorológicos Nacionales han desarrollado la capacidad de predicción numérica a cierto nivel, variando desde los modelos completamente globales a los de área limitada

y los modelos mesoescalares de mayor resolución, algunos en consorcios de colaboración de diversos CMN. A pesar de no ejecutar sus propios modelos, muchos otros CMN se benefician de los resultados de la predicción numérica.

Una de las mayores prioridades del área de atención del SMPDP desde 2002 ha sido la de mejorar el suministro y la explotación de los datos de predicción numérica del tiempo de cara a la predicción de fenómenos meteorológicos adversos en los países en vías de desarrollo. En 2006 se inició el Proyecto de demostración de predicciones de fenómenos meteorológicos adversos (SWFDP) y su primer proyecto se llevó a cabo en la zona sureste de África en forma de proyecto piloto de un año de duración, con el fin de demostrar el valor del suministro y la explotación de los productos de PNT existentes en cinco países (Botswana, Madagascar, Mozambique, República Unida de Tanzania y Zimbabue). El programa incluía formación a predictores sobre el uso de los productos con el fin de mejorar las predicciones de fenómenos meteorológicos adversos y las alertas por precipitaciones intensas y vientos fuertes.

Este proyecto piloto, llevado a cabo en el CMRE de Pretoria (Sudáfrica), y respaldado por los centros de PNT de los Estados Unidos, el Reino Unido y por el Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo, ha conseguido un gran éxito a través del suministro de varios productos de predicción meteorológica adaptados y basados en la PNT durante las 24 horas del día, entre los que se incluyen un producto diario de orientación con respecto a la predicción y con carácter sintetizado (CMRE de Pretoria) con el fin de ayudar a los predictores de los SMHN de los cinco países participantes.

Todos los países registraron importantes mejoras en sus programas de predicción y alertas meteorológicas. Los SMHN también se benefician de muchas aplicaciones de la PNT para un amplio abanico de servicios meteorológicos. En 2007 se decidió continuar con estos productos de manera operativa e indefinida, así como ampliar su disponibilidad a los 14 Miembros de la Comunidad para el desarrollo del África Meridional. Además, en coordinación con los programas de Servicios Meteorológicos para el Público y



de Reducción del Riesgo de Desastres, ambos auspiciados por la OMM, la iniciativa se está desarrollando aún más con la intención de mejorar los servicios operativos, el intercambio y los vínculos entre los SMHN participantes y los usuarios de los servicios meteorológicos para el público dentro de su propio país, incluyendo las autoridades de gestión de emergencias. De cara al futuro, el SWFDP será tomado en consideración para su puesta en marcha en la Región I de la OMM y en otras Regiones de la Organización.

Existen otras iniciativas del SMPDP, entre las que se incluyen la integración de la ciencia probabilística y la basada en conjuntos en el uso operativo, la elaboración de modelos mejorados a escala más fina en los CMRE y en los centros nacionales, el uso cada vez mayor de los productos de PNT continuamente actualizados en multitud de aplicaciones meteorológicas y el estrechamiento de la colaboración internacional en la predicción a largo plazo con el fin de perfeccionar los productos y servicios de los SMHN, así como su suministro de formación. El SMPDP ha sido testigo de una evolución colectiva constante a través de continuas mejoras en el desarrollo científico y tecnológico, el establecimiento de normas para el intercambio de productos y el suministro de formación y de creación de capacidad para los SMHN de los países en vías de desarrollo.

En los últimos años, las tecnologías de predicción numérica del tiempo han logrado una importante destreza y utilidad para numerosas aplicaciones meteorológicas de un amplio abanico de escalas espaciales y temporales, con plazos de predicción cada vez mayores a fin de anticipar los episodios y factores meteorológicos importantes, y también en lo que respecta a nuevos enfoques encaminados a resolver los

problemas de la predicción meteorológica y medioambiental. Sin embargo, si se revisaran los conceptos subyacentes tras el WIGOS y el SIO, podría parecer que el SMPDP es el componente restante de la infraestructura correspondiente a la Vigilancia Meteorológica Mundial que aún no ha experimentado un cambio planificado en su concepción, ni tampoco una nueva integración de todos los aspectos relacionados con el proceso de datos meteorológicos operativos de cara a las predicciones y aplicaciones meteorológicas y climáticas. El Plan Estratégico de la OMM para 2008-2011 hace especial hincapié en el suministro de servicios y reconoce formalmente tanto al WIGOS como al SIO. Cabe la posibilidad de que el próximo Congreso Meteorológico Mundial acuerde la creación de un Sistema de Predicción de la OMM, con el fin de apuntalar firmemente el suministro de estos servicios en el seno de una trilogía. ¿Qué aspecto tendría?

¿Un Sistema de Predicción de la OMM?

La OMM creó el SMPDP de la VMM como una red de Centros Meteorológicos Mundiales, Centros Meteorológicos Regionales Especializados y Centros Meteorológicos Nacionales con el fin de satisfacer las necesidades de predicción meteorológica, climática e hidrológica de sus Miembros. Este sistema procesa las observaciones de forma satisfactoria, a través de la asimilación de datos, y emite información relativa a las predicciones mundiales, regionales y locales en forma de productos especializados y generalizados, necesarios para que los SMHN puedan desarrollar sus productos, predicciones y alertas meteorológicos, climáticos e hidrológicos rutinarios para la protección de vidas y bienes durante episodios meteorológicos, climáticos e hidrológicos de gran impacto. Aunque el paradigma original del SMPDP de la VMM ha arrojado resultados positivos para la comunidad hidrometeorológica de usuarios durante las décadas pasadas, las últimas tendencias científicas y tecnológicas ofrecen importantes oportunidades para acelerar la consecución de mejoras y obtener unos mayores beneficios durante los años siguientes.

Un tema emergente es el reconocimiento de la necesidad de contar con información probabilística relativa al

estado futuro de los sistemas meteorológicos, climáticos e hidrológicos. Cada predicción contiene cierto grado de incertidumbre de manera inherente a ella y, para poder llevar a cabo un proceso óptimo de toma de decisiones, los usuarios deben tenerla en cuenta. Los desarrollos científicos apuntan en la dirección de que la predicción por conjuntos constituye el enfoque más práctico de la predicción probabilística, puesto que dicha predicción por conjuntos no solo puede registrar el escenario de predicción más probable en términos meteorológicos, climáticos o hidrológicos, sino también la incertidumbre asociada con cualquier predicción. Mientras que la mayor parte de centros de PNT que ejecutan modelos globales también emplean sistemas por conjuntos, algunos de ellos—así como otros CMN—están colaborando y han desarrollado conjuntos basados en una “colectividad” de resultados provenientes de diferentes sistemas de PNT independientes, de cara a las predicciones que van desde el corto al largo plazo.

Un segundo tema que está relacionado con lo anterior es el reconocimiento de la necesidad de productos y servicios orientados al usuario. Esto va más allá de la información tipo básica de las predicciones, y podría incluir productos y servicios adaptados que estén impulsados por las necesidades de la salud, energía, ecología y otras aplicaciones, y ser directamente relevantes a este respecto. Teniendo en cuenta el primer tema, estos productos y servicios también deberían adoptar la forma de guía probabilística de que ocurra un impacto máximo.

Un tercer tema es la aparición de nuevas características tecnológicas, como el sistema moderno de telecomunicaciones a nivel mundial, que incluye internet y la red informática mundial (WWW), y que permite: el acceso instantáneo y distribuido a productos y servicios; el entorno de desarrollo del software abierto, que amplía en gran medida el ámbito para la colaboración internacional dentro de las comunidades operativas y de investigación, y también entre estas; y, finalmente, la potencia cada vez mayor de los ordenadores, ampliando sobremanera la PNT y las capacidades de proceso afines. El Sistema de Información de la OMM y el Sistema Integrado de Observación Mundial de la misma

absorben la totalidad de estos procesos de evolución.

Los investigadores de la Comisión de Ciencias Atmosféricas/Programa Mundial de Investigación Meteorológica/Experimento de investigación y de predictibilidad del sistema de observación (THORPEX) de la OMM están implicados de forma activa en la ampliación de la base científica de los dos temas abordados anteriormente. Por lo que respecta al primero de ellos, un componente importante de la incertidumbre en la predicción es la utilización de modelos numéricos imperfectos relativos al conocimiento imperfecto del estado inicial del sistema atmósfera-superficie terrestre-océano. Los estudios de investigación y desarrollo que emplean datos procedentes del Gran conjunto interactivo mundial del THORPEX (TIGGE) y del Sistema de predicción por conjuntos de América del Norte para escalas temporales meteorológicas, así como datos procedentes del proyecto europeo DEMETER para escalas temporales estacionales, establecen el valor de combinar las predicciones por conjuntos generadas por diversos centros de predicción numérica a lo largo y ancho del planeta.

En lo que respecta al segundo asunto, se prevé que las necesidades del usuario no solo tengan una influencia sobre el producto, sino que también provoquen una reacción sobre la totalidad del camino que se debe recorrer hasta la elección de las observaciones efectuadas, modelos u otras herramientas de proceso que hayan sido empleados, dependiendo del nivel de concreción con el que los episodios meteorológicos, climáticos e hidrológicos pudieran afectar a los grupos de usuarios, derivando en un SMPDP configurado de forma adaptativa, desde el sistema de observación hasta los servicios del usuario y nivel de respaldo al mismo.

Por lo que respecta a las tendencias científicas y tecnológicas comentadas anteriormente, el programa THORPEX está preparando un borrador para crear un Sistema Interactivo Mundial de Predicción (GIFS). Las predicciones numéricas por conjuntos relativas a aplicaciones concretas se recopilarán desde los centros participantes. Los datos de los conjuntos se incrementarán desde el punto de vista estadístico con el fin de eliminar los errores sistemáticos y

presentar estos datos como elementos más útiles para las aplicaciones prácticas (por ejemplo, la creación de productos probabilísticos y de reducción de escala). Los datos de las predicciones por conjuntos pueden estar sujetos a un proceso adicional y específico del usuario para dar soporte al acceso en tiempo real a productos y servicios especializados para la comunidad de usuarios de la OMM, sobre todo en las regiones menos desarrolladas.

El GIFS saca provecho de los conjuntos actuales, de la PNT y de otras prácticas operativas en los CMM y los CMRE, aunque sus nuevas funciones pueden llevarse a cabo en los CMM y/o CMRE ya existentes y/o de nueva creación. En el núcleo del GIFS se encuentra la predicción por conjunto multicentros, que ofrece una solución de cara a generar una serie de productos mejorada y coherente, desde la escala temporal o espacial más pequeña y breve, y durante todo el camino asociado con la variabilidad climática. Más tarde, en una fase más avanzada, el GIFS también incluirá técnicas para dar respuesta a las necesidades del usuario de forma adaptativa con respecto a la Red mundial de sistemas de observación de la Tierra y a todo el proceso de predicción. En la medida en que se fusionen los avances científicos y tecnológicos, estos revolucionarán el SMPDP, conduciendo a un esquema más potente caracterizado por una interactividad, adaptación y receptividad ante el usuario nunca vistas hasta ahora.

Comentarios finales

Tal y como puede verse en este breve resumen, la Vigilancia Meteorológica Mundial está viva y goza de buena salud. Desde los conceptos originales resumidos en el artículo de Rasmussen de 2003 hasta la fecha de hoy se han diseñado importantes iniciativas encaminadas a mejorar las técnicas de los SMHN, y hay planes, programas y posibilidades apasionantes para el futuro. Sería una negligencia por mi parte no destacar una de las iniciativas estratégicas más excitantes desde la VMM: la Red mundial de sistemas de observación de la Tierra (GEOSS).

Como ya se ha descrito brevemente con anterioridad, la GEOSS se ha diseñado para integrar la información medio-

ambiental de una manera exhaustiva y sostenible, así como para ampliar su utilidad a determinadas aplicaciones socioeconómicas. La vulnerabilidad de la humanidad moderna, de las economías y del medio ambiente ante episodios meteorológicos, climáticos o hidrológicos de alto impacto quedó ampliamente demostrada en el tsunami del Océano Índico en 2004, así como por las sequías y desastrosas inundaciones en todos los continentes y por las rigurosas condiciones meteorológicas, entre las que se incluyen el frío o el calor extremos. Una reducción eficaz de los impactos de estos fenómenos y una adaptación a los mismos son elementos que requieren una observación y predicción precisas a escala mundial, regional y local, combinadas con un aumento de la capacidad de los gestores de reducción de riesgos de desastres y de los encargados de elaborar políticas para poder sacar partido de esta información. La GEOSS ofrece una estructura fundamental para servir como elemento de soporte a esta acción y la VMM del siglo XXI supone un elemento colaborador fundamental para este nuevo y revolucionario marco.

Referencias

- RASMUSSEN, J.R., 2003: Desarrollo histórico de la Vigilancia Meteorológica Mundial, *Boletín de la OMM* 52 (1), 16-25.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 1992: Comisión de Sistemas Básicos, informe final abreviado de la décima reunión (OMM-N.º 784), Ginebra.